

## 대구경 광학면 정밀가공을 위한 툴 영향 함수 기반 연마 제어 기법

### TIF Based Material Removal Control for Deterministic Pitch Tool Polishing for Large Optics fabrication

이현수<sup>1,2</sup>, 김석환<sup>1</sup>, 양호순<sup>2</sup>, 이재협<sup>2</sup>, 이인원<sup>2</sup>, 이윤우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과 우주광학연구실, <sup>2</sup>한국표준과학연구원 우주광학연구단

faniya@galaxy.yonsei.ac.kr

뉴턴에 의해 최초로 피치를 이용한 연마 기법이 발표되었는데, 피치는 기존의 천을 이용한 연마기술이 가공물의 표면에 많은 흠(scratch)을 발생시키는 문제점을 해결하였다. 뉴턴의 발표 이후 현재까지도 피치 툴은 대표적인 연마 툴로서 사용되고 있다. 본 연구는 이러한 피치 툴에 툴 영향 함수를 도입하는 새로운 연마 기법의 초기 연구에 관한 이론 및 실험 결과에 관한 것이다.

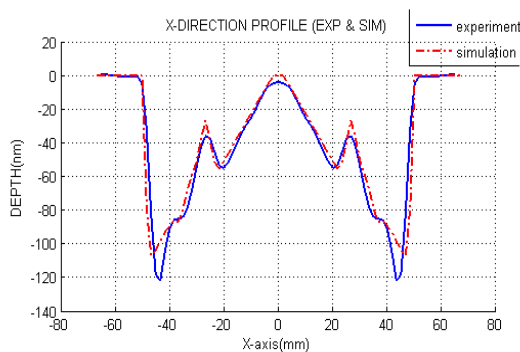


그림 1 시뮬레이션과 실험의 툴 영향  
함수결과 비교

툴 회전속도 : 35 rpm, 연마 압력 :  $0.0103 \text{ N/mm}^2$

피치툴의 연마 특성을 분석하는 것은 정량적 광학 연마의 핵심적 요소이다. 피치 툴의 물질 제거 특성은 프리스톤 방정식 이용한 툴 영향 함수를 구한 후, 시뮬레이션과 실험을 통하여 구하였다. 툴 영향 함수(TIF, tool influence function)는 가공 조건에 따라 연마 툴에 의해 제거되는 물질의 형상을 표현한다. 그림 1은 정지된 가공물 위에서 툴만을 회전시켰을 경우에 생성되는 툴 영향 함수의 실험과 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 부피를 기준으로 84.2%의 정확도로 툴 영향 함수의 실험과 시뮬레이션 결과가 일치함을 알 수 있었다. 이러한 툴 영향 함수 실험을 통하여 구한 zerodur의 물질 제거 상수는  $1.9079 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{N}$ 이었다.

그림 2는 광학 연마기의 개략도 이다. stroke arm의 길이와 속도, 가공물의 속도, 툴의 회전 속도의 조합에 의해서 툴의 초기 위치와 운동의 형태가 결정된다. 따라서 가공 변수의 설정에 따라 다양한 툴의 운동을 생성 시킬 수 있다. 이러한 다양한 툴의 운동을 이용하여 실제 가공에 적용하기 위한 확장형 툴 영향 함수를 구하였고 총 2156개의 확장형 툴 영향 함수로 이루어진 가공 데이터 베이스를 제작 하였다. 제작된 가공 데이터 베이스는 가공 시뮬레이션에서 가공 변수를 찾아내기 위하여 사용하였다.

그림 3은 확장형 툴 영향 함수의 예이다. 가공물 6 rpm, stroke arm의 회전속도 1 rpm,

stroke arm의 길이 20mm, 가공 시간 2분일 경우의 툴의 운동과 툴 영향 함수의 결과이다.

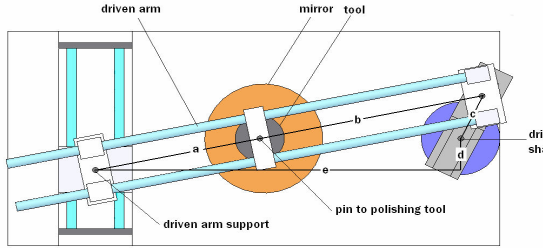


그림 2. 600 mm 광학연마기의 개략도

- a. 연마 툴과 driven arm support 사이의 거리,
- b. 연마 툴과 stroke arm 사이의 거리, c. stroke arm.
- d. driven arm support와 driving shaft 사이의 수직거리,
- e. driven arm support와 driving shaft 사이의 수평거리

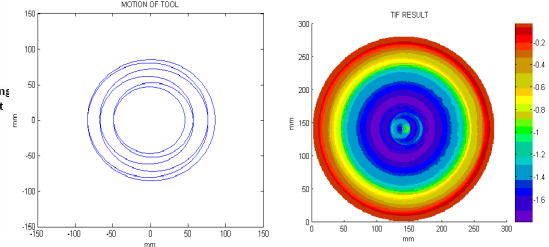


그림 3. 확장형 툴 영향 함수의 예

확장형 툴 영향 함수로 이루어진 가공 데이터 베이스를 이용하여 280 mm Zerodur 반사 거울의 초기 형상을 연마하는 시뮬레이션을 제작하였다. 가공 데이터 베이스에서 초기 형상을 제거 하기 위한 확장형 툴 영향 함수가 선택되고 초기 형상에 맞게 크기를 조절한 후 시뮬레이션 가공이 이루어진다. 그림 4와 같이 2번의 연마를 통해서 peak-to-valley 1 um의 Zerodur 반사 거울의 형상오차를 peak-to-valley 200.4 nm까지 가공할 수 있었다. 또한 선택된 확장형 툴 영향 함수를 통해 초기 형상을 가공하기 위한 가공 변수의 정보를 얻어낼 수 있었다.

위의 연구 결과들은 툴의 물질 제거량 및 물질 제거 형상을 이용한 정량화된 피치 툴 연마 및 가공 알고리즘을 통한 가공 변수 제어 자동화를 가능하게 해 줄 것이다.

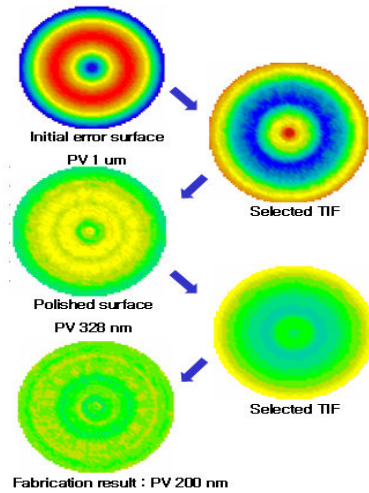


그림 4. 시뮬레이션 가공 결과

참고문헌

1. David D. Walker, "New results from the Precessions polishing process scaled to larger sizes", SPIE vol. 5494, p. 71-80.
2. Aric Shorey, William Kordonski, Mark Tricard, "Magnetorheological Finishing of large and lightweight optics", Advances in Mirror Technology for X-ray, EUV Lithography, Laser, and Other Applications II, SPIE, Optical Science and Technology, Denver, CO, 2-6 August 2004, 1.
3. Dae Wook Kim, Sug-Whan Kim, "Static tool influence function for fabrication simulation of hexagonal mirror segments for extremely large telescopes", optics express vol. 13, No 3, February 2005.
4. Do Hyung Kim, "On the Removal of Material for Polishing Aspheric Optics", PhD thesis, UCL, 66-69.